

Исследование особенностей решения математических задач в зависимости от успешности деятельности

А.С. Фомина, С.Г. Кочетова

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии
им. Д.И. Ивановского
a_bogun@mail.ru

Аннотация. В исследовании приводятся данные о специфике решения арифметических примеров средней сложности на умножение и деление. Показано, что в алгоритме решения примеров независимо от содержания и уровня сложности было от 1 до 3 этапов. При решении примеров на 2 операции происходило комплексирование операций, тогда как при решении в 3 операции – их разделение. При успешном решении принятие окончательного решения происходит на начальных этапах и сопровождается последовательным выполнением операций, тогда как при не успешном принятие решения происходит на конечных этапах и сопровождается перекрыванием операций. При анализе динамики спектральных характеристик диапазонов ЭЭГ при не успешном решении выявлена более высокая фоновая мощность альфа-диапазона и ее слабая десинхронизация при решении задач. Основные изменения в обеих группах были связаны с альфа-синхронизацией в задних областях и тета-синхронизацией в передних и теменных. Для альфа-диапазона была показана межполушарная асимметрия, а для тета-диапазона – передне-задняя. Успешное решение сопровождалось концентрацией активности в задействованных областях, а не успешное – неспецифическим снижением уровня синхронизации при умножении и его повышением при делении.

Ключевые слова: арифметическая задача, число операций, время решения, успешность решения, ЭЭГ

Study of arithmetic task's solution depended from the activity's success

A. S. Fomina, S. G. Kotchetova

Southern Federal University, Academy of biology and biotechnology
a_bogun@mail.ru

Abstract. The study was devoted to the mechanisms of solution of arithmetical tasks of medium complexity for multiplication and division. The task's solution algorithm regardless of the content and difficulty level was from 1 to 3 stages. Task's solution on the 2 operation was accompanied by the operation's integration, whereas task's solution in 3 operations – their separation. With the successful solution of the final solving occurs in the early stages and is accompanied by sequential operations, while not successful solution-making occurs in the final stages and is accompanied by overlapping operations. In the analysis of spectral characteristics of EEG bands in case of unsuccessful solution revealed higher power of the background alpha band and its weak desynchronization when solving problems. The main changes in both groups were associated with alpha synchronization in posterior regions and theta synchronization in anterior and parietal. For the alpha band have been shown hemispheric asymmetry, and theta-rhythm – front-back. The successful solution was accompanied by a concentration of activity in the affected areas, but not successful – to the non-specific decrease in the level of synchronization in the multiplication and increase in the division.

Keywords: arithmetic task, the number of operations, solution time, successful solution, EEG

Введение

Формирование математических навыков способно оказывать влияние на процесс познавательной деятельности и формирование индивидуального стиля мышления. Их реализация связана с вовлечением принципиально разных стратегий обработки чисел и правил расчетов (Котик, 1993), базирующихся на эволюционно древнем механизме оценки пространства, который приобретается в ходе обучения (Фомина, 2006; Хохлов, Ковязина, 2013; Amalric, Dehaene. 2016). Это связано с тем, что математические способности это очень неоднородная и сложная структура, которая предусматривает наличие различных познавательных и мыслительных способностей и их индивидуальных различий (Бияшева, Швецова, 1993; Щедровицкий, 2005).

Кроме того, актуальность изучения данного вопроса именно с позиции успешности деятельности связана с выявленной корреляцией успешности освоения математических навыков и уровнем эффективности образовательной деятельности в сфере естественнонаучного образования. При этом уровень освоенности и понимания содержания начальных этапов любой интеллектуальной задачи может напрямую влиять на успешность ее выполнения на финальных стадиях (Шадриков, 1996).

Цель работы: изучить динамику поведенческих и нейрофизиологических параметров решения примеров на умножение и деление в зависимости от успешности решения. В задачи работы входило изучение значений времени и качества решения, динамики промежуточных операций и значений спектральной мощности четырех диапазонов ЭЭГ при решении решения примеров на умножение и деление в зависимости от сложности и успешности решения.

Методика исследования

В исследовании приняли участие 25 человек, студенты Южного федерального университета (18 женщин, 8 мужчин), в возрасте от 19 до 25 лет (средний возраст 20 лет), праворукие. Тест состоял из двух блоков, названных «Умножение» и «Деление». Каждый блок состоял из 50 примеров; знак арифметической операции внутри блока не менялся. В качестве операндов использовались двузначные числа (шрифт Times New Roman, 44 кегль, черный цвет). Операнды и знаки операций предъявлялись последовательно (первый операнд - знак операции - второй операнд) в течение 700 мс каждый. В каждом блоке присутствовало 50% сложных и 50% простых примеров. Выделение примеров по уровню сложности проводилось по методике S. Dehaene с соавторами (2003-2004). Для исследования выбраны примеры с уровнем сложности «средний» и «ниже среднего».

В процессе решения участники нажимали на кнопку манипулятора «мышь» каждый раз после получения промежуточного результата и при получении итогового. Ответы фиксировались в специальном текстовом документе.

Предъявление стимулов проводилось с использованием программной среды «Аудиовизуальный слайдер» на экране компьютера на расстоянии 1 метра на уровне глаз. Регистрация комплекса электрофизиологических показателей проводилась с использованием многоканального компьютерного электроэнцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» по системе 10-20, монополярно, в 21 стандартном отведении по системе 10-20 с шагом дискретизации 4 мс и частотной полосой пропускания 0,5-70 Гц. Референтные электроды располагались на мочках ушей, а индифферентный - на лбу.

Обработка данных проводилась в программной среде MATLAB. Вычисляли время и качество решения примеров, количество и длительность промежуточных операций, и значения спектральной мощности четырех диапазонов ЭЭГ. Достоверность различий оценивалась с применением Т-критерия Стьюдента при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

При анализе динамики качества и времени решения всего блока примеров было выявлено, что качество решения примеров на умножение было достоверно выше в сравнении с делением, а время решения – ниже.

На основании качества решения все участники были разделены на две группы. В соответствии с критериями, указанными в исследованиях S. Dehaene с соавторами (2003-2004) в качестве порогового значения качества решения для разделения групп было принято 70%. Участники, среднее качество решения у которых составляло 86% и выше, попадали в группу «Успешные», тогда как участники с средним качеством решения у которых составляло менее 70% - в группу «Не успешные». В нашем исследовании участников, среднее качество решения варьировало от 70% до 86%, выявлено не было. Вследствие этого группы были четко разграничены.

В группе «Успешные» среднее качество решения составляло $92 \pm 2,24$ %, а в группе «Не успешные» - $65 \pm 3,4$ %. Среднее время решения в группе «Успешные» составляло $11,4 \pm 0,9$ с, в группе «Не успешные» - $12,3 \pm 0,9$ сек.

В обеих группах примеры на умножение и деление включали от 1 до 3 промежуточных операций. Для успешного решения прослеживалась линейная зависимость в виде увеличения длительности решения с ростом числа операций. При не успешном решении такой зависимости не выявлено.

При анализе динамики отдельных операций для примеров на умножение, решаемых в 2 этапа, была показана более высокая длительность второй операции при простом умножении в группе «Не успешные». Это могло отражать перенос принятия решения на его конец. В группе «Успешные» длительность первой и второй операций не различалась; Это предполагает протекание сходного процесса решения на всех этапах. При переходе к решению в 3 операции при успешном решении происходит добавлении третьей операции, а при неуспешном – разделение второй операции.

При решении сложных примеров в две операции показана обратная зависимость в виде более высокой длительности первой операции при успешном решении, и второй – при не успешном. Переход к решению в три операции также приводил к разделению первой операции в группе «Успешные» и второй – в группе «Не успешные». Это связано с индивидуальным способом облегчения решения.

Для простых примеров на деление динамика операций была одинакова независимо от успешности деятельности. При решении в 3 операции в обоих случаях также происходит добавлении операции. В группе «Не успешные» это сопровождалось ростом длительности операций. При решении сложных примеров на деление в две и три операции динамика длительности операций была аналогична таковой при решении простых примеров.

Следовательно, при успешном решении примеров на умножение происходило добавление новых операций, за счет чего возрастало время решения, и разделение начальных этапов. Не успешное решение сопровождалось ростом длительности последней операции, и ее разделением. Решение примеров на деление сопровождалось добавлением новых операций, и переносом решения в конец. Затруднения вызывало решение сложных примеров в группе «Не успешные», где росла длительность операций.

На основании этого можно предполагать, что в обоих случаях задействуется сходный алгоритм решения, но он по-разному реализуется за счет смещения решения в начало или конец. При успешном решении принятие окончательного решения происходит на начальных этапах и сопровождается последовательным выполнением операций, тогда как при не успешном принятие решения происходит на конечных этапах и сопровождается перекрыванием операций (Симонов, 1981; Serrien et al., 2004; Hinault, 2017; Shaki, Fischer, 2017). Кроме того, при сходстве алгоритма решения можно предполагать более частую самопроверку его правильности в группе «Успешные», что снижало уровень когнитивного напряжения (Айдаркин, Богун, Щербина, 2010; Айдаркин, Фомина, 2016; Tschentscher, Nauk, 2014; Shaki, Fischer, 2017)

При анализе динамики значений спектральной мощности четырех диапазонов ЭЭГ при решении примеров (рис.1) было выявлено, что в группе «Успешные» в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами доминировал альфа – диапазон. При открывании глаз наблюдалась выраженная реакция десинхронизации. При решении примеров на умножение происходила дальнейшая десинхронизация альфа-диапазона с образованием фокуса в правой теменной области одновременно с тета-синхронизацией в передних и центральных областях. Это отражало сложность примеров. При делении картина была сходной.

В группе «Не успешные» различия заключались в больших значениях фоновой мощности альфа-диапазона, и более выраженной реакция альфа-десинхронизации. При решении примеров на умножение, в отличие от предыдущей группы, изменения тета- и альфа-частот были небольшими. Напротив, при делении наблюдалась альфа-синхронизация в задних областях со смещением вправо. Тета-синхронизация была связана с образованием двух фокусов в передних и теменных областях. Таким образом, для альфа-диапазона оказана межполушарная асимметрия, а для тета-диапазона – передне-задняя.

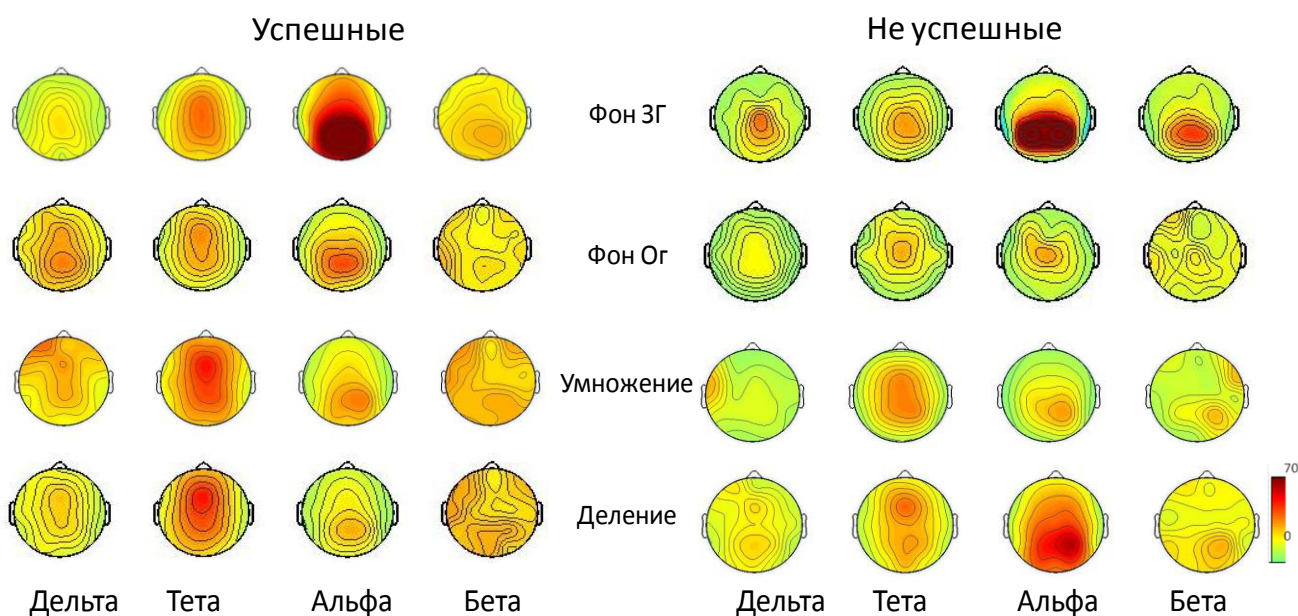


Рисунок 1. Топографические карты распределений значений четырех спектральных диапазонов ЭЭГ в обеих группах при решении примеров на умножение и деление
Примечание. Обозначения: по центру обозначены функциональные пробы. Темный цвет соответствует высоким значениям спектральной мощности в соответствующих отведениях

На основании этого можно предполагать, что успешные участники характеризовались большей фоновой устойчивостью. Не успешные участники при исходно не сбалансированном уровне активации слабо реагировали на задачу.

В группе «Успешные» при решении простых примеров на умножение (рис. 2) наблюдалась снижение спектральной мощности во всех диапазонах. Напротив, при решении сложных примеров происходила синхронизация в альфа- и тета-диапазонах, вследствие чего фокусы стали более выражены.

В группе «Не успешные» тенденция была сходной, однако уровень синхронизации был меньше. Это могло отражать сходство процесса решения примеров на умножение, но его большую сложность у в группе «Не успешные». При решении примеров на деление в группе «Успешные» происходила десинхронизация альфа-диапазона и синхронизация тета- и дельта-частот, что было более выражено при решении сложных примеров.

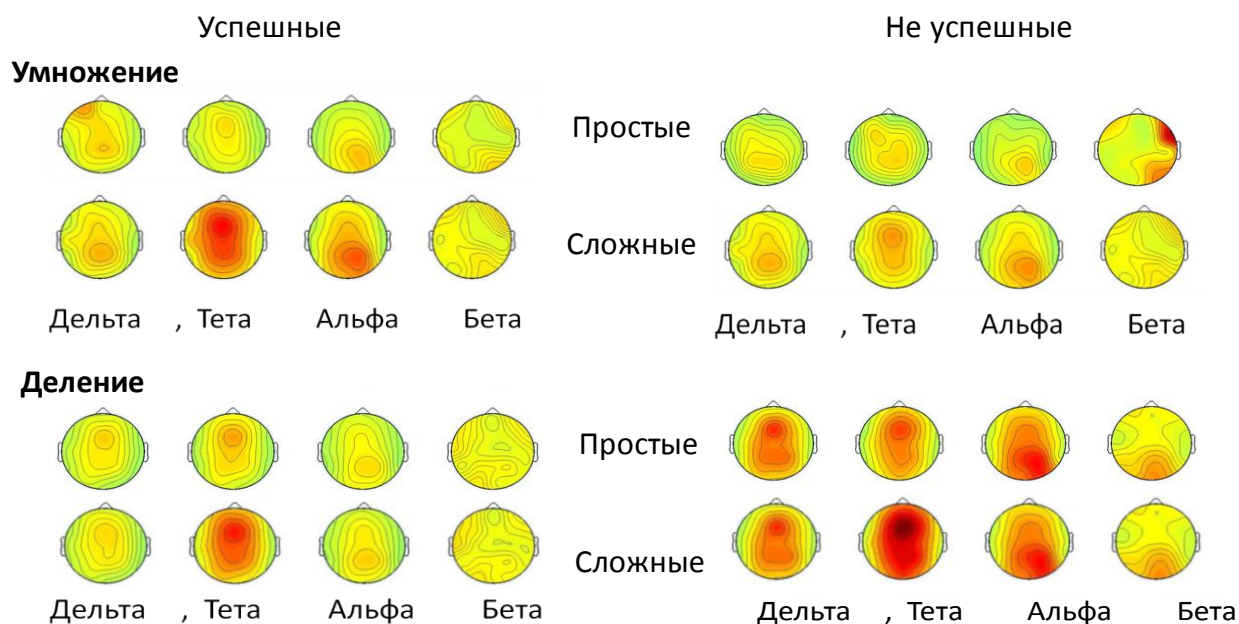


Рисунок 2. Топографические карты распределений значений четырех спектральных диапазонов ЭЭГ при решении групп примеров на умножение и деление в зависимости от сложности. Примечание. Обозначения как на рис. 1.

В группе «Неуспешные» наблюдалось увеличение во всех диапазонах с образованием альфа-фокуса в задних областях, а тета- и дельта – в передних. Такая значимая синхронизация связана с дефицитом ресурсов для решения задачи ввиду ее сложности. Увеличение дельта-активности в лобных областях отражало вовлечение системы произвольного внимания. Можно предполагать разную степень его вовлечения в двух группах.

Таким образом, противоположная динамика альфа- и тета-синхронизации отражала кодирование новой информации в рабочей памяти и обеспечение общей активации коры. Наряду с изменениями временных параметров это могло отражать разное вовлечение сходного алгоритма решения в двух группах, связанное с активацией кортико-гиппокампальной и фронтоталамической систем (Костандов, Черемушкин 2011; Stavros, 2017). Успешное решение было связано с добавлением новых операций и принятием решения в конце примера, что сопровождалось концентрацией активности в задействованных областях. Неуспешное решение связано с принятием решения на конечных этапах и сопровождалось неспецифическим снижением уровня синхронизации при умножении и его повышением при делении.

Литература

- Айдаркин Е.К., Богун А.С., Щербина Д.Н. Отражение реализации арифметического навыка в динамике уровня когнитивного напряжения и ЭЭГ в условиях параллельного выполнения двух задач // Валеология, 2010, № 3. – С. 33-48.
- Айдаркин Е.К., Фомина А.С. Исследование механизмов решения когнитивных задач в условиях конкуренции за ресурсы внимания // Валеология.-2016 г. - № 3.
- Бияшева З.Г., Швецова Е.В. Информационный подход к анализу возрастной динамики ЭЭГ мальчиков и подростков 7-18 лет при решении в уме арифметических задач // Физиология человека. 1993, т.19, №5, – С. 5-11.
- Костандов Э.А., Черемушкин Е.А. Вызванная реакция синхронизации/ десинхронизации корковой электрической активации тета- и альфа-диапазонов на изображение лица при

- увеличении нагрузки на рабочую память // Журнал высшей нервной деятельности. 2011. – т. 61 – №1. – С. 35-46.
- Котик М.А. «Психология труда и инженерная психология»// Психологический журнал. – 1993. – №5. – С. 34-41.
- Симонов П.В. Эмоциональный мозг. - М.: Наука. 1981. – 216 с.
- Хохлов Н.А., М.С. Ковязина «Латеральные признаки, структурно-уровневые характеристики интеллекта и математические способности» // Ассиметрия. – 2013. – №3. – С. 32-52.
- Шадриков В.Д. Психология деятельности и способности человека. Издательская корпорация «Логос», 1996, 320 с.
- Щедровицкий Г.П. Мышление. Понимание. Рефлексия. – М., 2005. – 800 с.
- Amalric M., Dehaene S. Origins of the brain networks for advanced mathematics in expert mathematicians // Proc Natl Acad Sci U S A. – 2016. – № 113(18). – P. 4909-4917.
- Basar E., Basar-Eroglu C., Karakas S., Schürmann M. Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes //International Journal of Psychophysiology, 2001, № 39. – P. 241-248.
- Dehaene S., Piazza M., Pinel P., Cohen L. Three parietal circuits for number processing. // Cognitive Neuropsychology, 2003, 20(3–6). – P. 487-506.
- Dehaene S., Molko N., Cohen L., Wilson A. Arithmetic and the brain // Current Opinion in Neurobiology. – 2004. – №14. – P. 218-224.
- Engel A.K., Fries P. Beta-band oscillations--signalling the status quo? Curr Opin Neurobiol. 2010 Apr; 20(2). – P.156-65.
- De Smedt B., Grabner R.H., Studer B. Oscillatory EEG correlates of arithmetic strategy use in addition and subtraction // Exp Brain Res., 2009; 195(4). – P. 635-42.
- Hinault, T., Badier, J., Baillet, S., Lemaire, P. The Sources of Sequential Modulations of Control Processes in Arithmetic Strategies: A Magnetoencephalography Study. // J Cogn Neurosci, 2017. – №6.
- Serrien DJ, Poghosyan AH, Brown P. Influence of working memory on patterns of motor related cortico-cortical coupling//Exp Brain Res. 2004; 155(2). – P. 204-210.
- Shaki, S., Fischer, M. Competing Biases in Mental Arithmetic: When Division Is More and Multiplication // Front Hum Neurosci, 2017. – № 11.
- Stavros, I., Dimitriadis, A., Nikolaos, A., Laskaris, B. Greater Repertoire and Temporal Variability of Cross-Frequency Coupling (CFC) Modes in Resting-State Neuromagnetic Recordings among Children with Reading Difficulties. Front Hum Neurosci, 2017. – №10.
- Tschentscher, N., Hauk, O. Frontal and Parietal Cortices Show Different Spatiotemporal Dynamics across Problem-solving Stages // J Cogn Neurosci. – 2016. – №8. – P. 1098-1110.

Сведения об авторах

Фомина Анна Сергеевна

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им.Д.И.Ивановского, кафедра физиологии человека и животных, старший преподаватель, к.б.н. Ростовская область, Ростов-на-Дону.
a_bogun@mail.ru

Кочетова София Глебовна

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им.Д.И.Ивановского, кафедра физиологии человека и животных, студент 4 курса. Ростовская область, Ростов-на-Дону.
a_bogun@mail.ru